

**Method of producing an accelerating electrons and ions under application of voltage and arrangements connected therewith**

Patent Number: ☐ US4335465  
Publication date: 1982-06-15  
Inventor(s): CHRISTIANSEN JENS; SCHULTHEISS CHRISTOPH  
Applicant(s):: CHRISTIANSEN JENS; SCHULTHEISS CHRISTOPH  
Requested Patent: ☐ DE2804393  
Application Number: US19790008162 19790131  
Priority Number(s): DE19782804393 19780202  
IPC Classification: G21G1/06 ; H01J17/00  
EC Classification: H01J3/02E, H01J3/04, H05H1/48  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

An electron and ion accelerator includes plural spaced electrodes which are apertured to define a gas discharge path and supported at their peripheries by insulative means. A gas supply provides low pressure gas capable of producing electrons and ions in the gas discharge path. A voltage applied between the at least two electrodes establishes an electrical potential between them such that a spark-like gas discharge occurs along the gas discharge path. The current density obtainable in the low pressure gas is substantially higher than the density of an electron or ion flow in a vacuum.

---

Data supplied from the esp@cenet database - 12

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Pat ntschrift  
⑪ DE 2804393 C2

⑳ Aktenzeichen: P 28 04 393.8-33  
㉑ Anmeldetag: 2. 2. 78  
㉒ Offenlegungstag: 9. 8. 79  
㉓ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 2. 1. 87

⑥ Int. Cl. 4:  
**H05H 1/26**  
H 01 J 3/04  
H 01 J 3/02  
G 21 B 1/00  
F 03 H 5/00

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

㉔ Patentinhaber:

Christiansen, Jens, Prof. Dr., 8520 Buckenhof, DE;  
Schultheiß, Christoph, Dr., 8521 Spardorf, DE

㉕ Vertreter:

Richter, B., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 8500 Nürnberg

㉖ Erfinder:

gleich Patentinhaber

㉗ Im Prüfungsverfahren entgegengehaltene  
Druckschriften nach § 44 PatG:

FR 14 77 911  
US 31 37 820  
US 29 00 566  
J. Appl. Phys., Vol. 37, Nr. 11, 1966, S. 4287 4288;

㉘ Verfahren zum Erzeugen und Beschleunigen von Elektronen bzw. Ionen in einem Entladungsgefäß, sowie dazugehöriger Teilchenbeschleuniger und ferner dazugehörige Anwendungen des Verfahrens

DE 2804393 C2

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen und Beschleunigen von Elektronen bzw. Ionen in einem Entladungsgefäß, bestehend aus im Abstand voneinander angeordneten Metallelektroden, die durch eine umgebende Isolierwand gehalten sind und die mindestens einen Gasentladungskanal aus fluchtenden Öffnungen der Elektroden bilden, bei dem in dem Entladungsgefäß eine ionisierbare Niederdruck-Gasfüllung eingebracht wird und an die Elektroden eine elektrische Spannung von einer Höhe angelegt wird, daß sich eine funkenähnliche Gasentladung in dem mindestens einen Gasentladungskanal ausbildet, aus dem die Elektronen bzw. Ionen austreten, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasdruck ( $p$ ) und der Abstand ( $d$ ) der Elektroden (1, 2, 9) im Entladungsgefäß so eingestellt wird, daß das Produkt ( $p \times d$ ) aus Gasdruck ( $p$ ) und Elektrodenabstand ( $d$ ) in der Größenordnung von 133 Pa mm oder darunter liegt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Elektrodenabstand ( $d$ ) in der Größenordnung von 1 mm typische Werte des Gasdruckes ( $p$ ) von 13,3 bis 133 Pa gewählt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Spannung ( $U$ ) im Bereich zwischen 5 bis 30 kV angelegt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die funkenähnliche Gasentladung durch an eine oder einige Elektroden (1, 2, 9) angelegte Triggersignale ausgelöst wird.
5. Teilchenbeschleuniger zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die äußersten Elektroden (1, 2) die Kathode und die Anode bilden, und die inneren Elektroden (9) frei floatend durch die Isolierwand (13) gehalten sind.
6. Teilchenbeschleuniger nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Kathode (1) und Anode (2) ein externer Kondensator (16) angeschlossen ist.
7. Teilchenbeschleuniger nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwei oder mehrere der Elektroden an Kondensatoren und/oder an Spannungsteiler angeschlossen sind.
8. Teilchenbeschleuniger nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchmesser der Öffnungen (3, 4, 10) der Elektroden (1, 2, 9) in der Größenordnung der Elektrodenabstände ( $d$ ) liegt.
9. Teilchenbeschleuniger nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Anode keine Öffnung aufweist.
10. Teilchenbeschleuniger nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden planparallel oder konzentrisch angeordnet sind.
11. Teilchenbeschleuniger nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere parallel angeordnete Gasentladungskanäle (5) vorgesehen sind.
12. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 oder des Teilchenbeschleunigers nach einem der Ansprüche 5 bis 11 zur Aufheizung eines Targets zur Auslösung von Fusionsreaktionen.
13. Anwendung des Verfahrens nach einem der An-

sprüche 1 bis 4 oder des Teilchenbeschleunigers nach einem der Ansprüche 5 bis 11 als Ionenantrieb.

14. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 oder des Teilchenbeschleunigers nach einem der Ansprüche 5 bis 11 zur Materialbearbeitung mittels des austretenden Ionen- oder Elektronenstroms.

15. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 oder des Teilchenbeschleunigers nach einem der Ansprüche 5 bis 11 zur Verdampfung von Materialien mittels des austretenden Ionen- oder Elektronenstroms.

16. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 oder des Teilchenbeschleunigers nach einem der Ansprüche 5 bis 11 zur Plasmaerzeugung des auf einen Festkörper auftreffenden Ionen- oder Elektronenstroms.

17. Anwendung des Verfahrens nach Anspruch 16 zur Erzeugung einer gepulsten Lichtquelle.

18. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 oder Teilchenbeschleunigers nach einem der Ansprüche 5 bis 11 zur Erzeugung von Röntgenstrahlung mittels durch die Anodenöffnung austretenden oder auf die Anode auftreffenden Elektronenstroms.

19. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 oder des Teilchenbeschleunigers nach einem der Ansprüche 5 bis 11 zur Erzeugung von Neutronen mittels des kathodenseitig austretenden oder auf die Kathode auftreffenden Ionenstroms.

20. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 oder des Teilchenbeschleunigers nach einem der Ansprüche 5 bis 11 als Impuls-generator oder als Schalter.

## Beschreibung

Die Erfindung geht aus von einem gattungsgemäßen Verfahren, das sich aus der USA-PS 29 00 566 ergibt. Dabei werden Elektronen bzw. Ionen in einem Entladungsgefäß erzeugt, das im Abstand voneinander angeordnete Metallelektroden aufweist. Diese Metallelektroden sind durch eine sie umgebende Isolierwand gehalten und weisen einen Gasentladungskanal auf, der von fluchtenden Öffnungen dieser Elektroden gebildet ist. In dieses Entladungsgefäß wird eine ionisierbare Gasfüllung eingebracht, im allgemeinen unter atmosphärischen Druck. Im Extremfall wird ein reduzierter Druck bis herunter zu 10 Torr (1333 Pa) erzeugt. An die Elektroden wird eine elektrische Spannung von einer Höhe angelegt, daß sich eine funkenähnliche Gasentladung in diesem Gasentladungskanal ausbildet, aus dem das erhitzte Plasma austritt. Unter dem Wort "funkenähnlich" wird bei diesem Stand der Technik eine schnelle elektrische Entladung bzw. eine Glimmentladung verstanden, die nachstehend noch näher erläutert wird. Man arbeitet dabei auf dem "rechten" Ast der Paschenkurve und erhält keinen Unterschied in dem austretenden Plasma bei Spannungsumkehr.

Physikalisch erfolgt im rechten Ast der Paschenkurve ein spontaner elektrischer Durchschlag entlang der Durchbruchspannungs-Druckcharakteristik, der eindeutig einen steigenden Verlauf hat, d. h. die Durchbruchspannung wächst mit steigendem Druck. Durch diese Charakteristik sind Gasentladungsmechanismen die Ursache für die Auslösung einer Entladung, die sich

A4

recht

auszeichnet durch einen Energietransfer von den Elektroden eines Gasentladungssystems in das Gas im Zeitbereich von der Größenordnung Mikrosekunden oder langsamer, sofern es sich um selbständige Gasentladungen handelt, d. h. um Gasentladungen, die nicht durch eine impulsartige Energiezufuhr gekennzeichnet sind. Um solche Gasentladungen handelt es sich bei dieser Vorveröffentlichung eindeutig, wie aus der aufgeführten Zeitcharakteristik der Entladung hervorgeht. Da im rechten Ast der Paschenkurve die Elektronendichte entsprechend hoch ist, kann dort keine hohe Elektronengeschwindigkeit erreicht werden. Der Gasentladungstyp, der in der US-PS 29 00 566 beschrieben wird, ist eine Glimmentladung, die nach kurzer Aufbauphase in einen normalen Hochdruckfunken übergeht. Solche Systeme werden vielfach bei impulsartiger Energiezufuhr in Gaslasern verwendet, jedoch meist bei einer anderen Elektrodenanordnung. Es soll ein hochgradig erhitztes Gas ausgestoßen werden. Dies belegen auch eindeutig die hierfür typischen Gasgeschwindigkeiten von z. B. 4000 m/s. Es geht in dem Zusammenhang auch aus der Beschreibung dieser Vorveröffentlichung hervor, daß die anodenseitig austretende Plasmablase eine Ausdehnung von 0,5 cm hat, von der aus ein heißes Plasma nach allen Seiten abgestoßen wird. Im Plasma sind die freien Weglängen der Elektronen zwischen zwei elastischen Stößen extrem klein (typischerweise  $10^{-4}$  cm), so daß eine Beschleunigung geladener Teilchen im elektrischen Feld gar nicht möglich ist.

In der Vorveröffentlichung J. Appl. Phys. Vol. 37, Nr. 11, 1966, Seiten 4287—4288 wird der elektrische Durchbruch (Breakdown) in einem Zwei-Parallelplattensystem beschrieben und es werden Messungen dazu vorgelegt. Es handelt sich um einen normalen elektrischen Durchbruch im Parallelplattensystem, wobei die Durchbruchspannung als Funktion des Produktes  $p \times d$  beschrieben wird. Bei dieser Messung wird der Niederdruckbereich (linker Ast der Paschenkurve), das Paschen'sche Minimum sowie der Wiederanstieg der Durchbruchspannung zu hohen Drucken für einige Gase gemessen. Dieser Sachverhalt ist seit dem vorigen Jahrhundert bekannt. Erzeugt wird aber nur eine Glimmentladung. Es wird in dieser Vorveröffentlichung sogar ausführlich dargelegt, daß eine für den Gaseintritt in die beschriebene Zelle notwendige Bohrung, um Potentialverzerrungen zu vermeiden, durch die Anbringung eines über die gesamte Bohrung angebrachten feinen Siebes (mit etwa 1000 Löchern pro  $\text{cm}^2$ ) elektrisch egalisiert wird. Durch diese Maßnahme sollen Störungen in der Homogenität des elektrischen Feldes vermieden werden.

Die US-PS 31 37 820 betrifft eine gepulste Ionenquelle des Types "Duoplasmatron". Nach Anlegen einer Hochspannung zündet ein Bogen (hoher Strom, geringe Spannung) zwischen der Anode und der Kathode. Über eine Extraktionsblende wird mit einem Ziehpotential ein Ionenstrahl extrahiert. Es handelt sich um die Erzeugung eines ionisierten Plasmas zur Bildung eines Ionenstromes, also die klassische Ionenquelle. Es wird also auch bei dieser Vorveröffentlichung für sich ein Plasma geschaffen und dann werden durch andere Mittel (äußere Fehler) hieraus Ionen herausgezogen. Die dort vorgesehene Spannung ist außerordentlich hoch, nämlich 50 bis 250 kV.

Die Aufgabe der Erfindung besteht demgegenüber in der Schaffung eines Verfahrens, mit dem eine schnelle funkenähnliche und konzentrierte Gasentladung bei sehr kurzen Gasentladungsaufbauzeiten erzielt werden

soll.

Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt mit den Merkmalen des Kennzeichens des Anspruches 1. Die erläuterten Nachteile der vorbekannten Ausführungen und Verfahren sind vermieden. Es wird vielmehr eine funkenähnliche Gasentladung von der Art erreicht, die neuerdings als Pseudo-Funke bezeichnet wird. Hierbei wird mehr im Bereich des rechten Astes sondern im Bereich des linken Astes der Paschenkurve gearbeitet. Der Aufbau der Entladung spielt sich nicht mehr wie beim Gegenstand der US-PS 29 00 566 im Mikrosekundenbereich, sondern im Nanosekundenbereich ab. Aufgrund des Arbeitens bei einem relativ niedrigen Produkt  $p \times d$  besteht ein großer freier Weg für die Elektronen, so daß hohe Geschwindigkeiten für die emittierten Teilchen, nämlich bis in die Größenordnung von  $1/4$  bis  $1/2$  der Lichtgeschwindigkeit, erreicht werden. Die freien Weglängen der Elektronen liegen in der Größenordnung von mm bis cm, so daß die Elektronen nach einigen Stößen im elektrischen Feld eine so hohe Energie aufnehmen können, daß sie durch Zusammenstöße keine nennenswerte Energieverluste mehr erleiden (sogenannte Runaway-Elektronen). Statt der "Thermalisierung" des Plasmas nach der erstgenannten Vorveröffentlichung und Erzeugen einer entsprechenden Blase wird mit der Erfindung eine Teilchenbeschleunigung in Form eines Strahles erzeugt. Es entsteht ein gebündelter und entsprechend intensiver Elektronen- und auch Ionenstrom. Der Unterschied in den Energien der Elektronen nach dem erfindungsgemäßen Verfahren gegenüber dem erläuterten Verfahren nach US-PS 29 00 566 beträgt mehrere Größenordnungen z. B.  $10^4$ . Aufgrund des Arbeitens im linken Bereich der Paschenkurve hat die funkenähnliche Gasentladung (Pseudo-Funke) mit steigendem Druck eine fallende Durchbruchsspannung. Man hat eine genügend hohe Spannung und hierdurch eine Quelle für die Erzeugung schnellerer gepulster Ionen- und Elektronenströme. Es werden Elektronen-Energieverteilungen bis zu 50 kV erzielt und zwar mit einem scharf gerichteten Strahl von Elektronen, der in dem eigenen Gas noch nach einem Meter nachweisbar ist und der in größeren Entfernungen von der Anode noch verwendet werden kann, z. B. zum Bohren von Metall mit Bohrl Lochdurchmesser von etwa 0,5 mm.

Erwähnt sei, daß bei Untersuchungen vorbekannter üblicher Funkendurchschläge auftretende unstetige Verlauf des Funkenkanals und die damit auftretende Einschnürung der eigentlichen Entladungsstrecke im Gasraum vermieden wird, wenn nach der Lehre des Verfahrens gemäß der Erfindung gearbeitet wird. Der Gasdruck wird entsprechend niedrig gehalten (typische Werte: 13,3—133 Pa).

Die Verfahrensansprüche 2 und 3 stellen bevorzugte Ausführungen der Erfindung hinsichtlich des Produktes  $p \times d$  als auch der angelegten Spannung dar.

Das Merkmal des Anspruches 4 ermöglicht eine Genauigkeit der Zündung auch im Nanosekundenbereich.

Mit den Merkmalen des Anspruches 5 ist in konstruktiv einfacher und sicherer Weise ein Entladungsgefäß geschaffen, bei dem die Öffnungen der Elektroden in einer Richtung liegen und einen geraden Gasentladungskanal bilden, während zugleich für die notwendige äußere Isolierung gesorgt ist.

Die Bildung des Gasentladungskanales ist dann besonders von Vorteil, wenn die Merkmale des Anspruches 8 verwirklicht sind.

Aus der vorstehenden Erläuterung der Ansprüche 5 und folgende ergibt sich, daß die Erfindung auch die

Aufgabe der Schaffung eines zur Durchführung des Verfahrens dienenden Teilchenbeschleunigers löst.

Schließlich lehrt die Erfindung auch verschiedene wesentliche Anwendungen des Verfahrens oder des zugehörigen Teilchenbeschleunigers.

Hierzu lehrt Anspruch 12 die Anwendung zur Aufheizung eines Targets zur Auslösung von Fusionsreaktionen. Dies ist für die Nukleartechnik wichtig.

Die Anwendung gemäß Anspruch 13 als Ionenantrieb kann aufgrund des hiermit erzielten Rückstoßes zum Antrieb einer Ionenrakete verwendet werden, wobei die Ionen nach ihrem Austritt aus dem Kathodenbereich in den Außenraum der Rakete gelangen.

Auf die Anwendung zur Materialbearbeitung mittels des austretenden Ionen- oder Elektronenstromes (Anspruch 14) ist oben schon hingewiesen worden. Dies kann sein: Bohren, Fräsen, Abtragen von Material, wobei entweder die Prozedur innerhalb des Entladungsgefäßes stattfindet oder der Teilchenstrom nach Durchlaufen geeigneter Austrittsvorrichtungen in den Außenraum des Gefäßes austritt.

Anspruch 15 lehrt in diesem Zusammenhang die Anwendung des Verfahrens zur Verdampfung von Materialien mittels einer dieser Ströme.

Die Anwendungsmöglichkeit gemäß Anspruch 16 ist ein vorteilhafter Weg zur Plasmaerzeugung und die des Anspruches 17 zur Erzeugung einer gepulsten Lichtquelle. Hierbei kann der austretende Ionen- bzw. Elektronenstrom auf einen Festkörper treffen, der durch die hierbei erzeugte hohe Temperatur dann die Lichtquelle bilden. Es kann aber auch der austretende Ionen- oder Elektronenstrom nach Eintritt in einem mit Gas gefüllten Raum zur Erzeugung einer intensitätsstarken, gepulsten Lichtquelle verwendet werden.

Anspruch 18 zeigt eine vorteilhafte Anwendung zur Erzeugung von Röntgenstrahlen und Anspruch 19 zur Erzeugung von Neutronen.

Schließlich ist gemäß Anspruch 20 auch eine Anwendung als Impulsgenerator oder als Schalter möglich.

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung sind den weiteren Unteransprüchen sowie den nachstehenden Erläuterungen und der Zeichnung von Ausführungsmöglichkeiten zu entnehmen. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 eine Prinzipanordnung eines Entladungsgefäßes mit zwei Elektroden im Schnitt.

Fig. 2 ebenfalls im Schnitt ein Entladungsgefäß mit mehr als zwei Elektroden und isolierender Gefäßwand.

In der Fig. 1 sind zwei Elektroden 1 (Kathode) und 2 (Anode) mit der Kathodenbohrung 3 und der Anodenbohrung 4 dargestellt. Die Bohrlochachse 5 entspricht der Richtung und der Mittelachse des hiermit erzielten Elektronen- oder Ionenstromes. Beide Elektroden sind durch eine Isolierung 6 voneinander getrennt. Die Außenbegrenzung der Elektroden ist gegen die Bohrlöcher und die Gasfüllung elektrisch isoliert. Die Spannung wird bei den Anschlußklemmen 7, 8 angelegt. Es wird durch nicht dargestellte Mittel für einen Unterdruck in der ionisierbaren Niederdruck-Gasfüllung von z. B.  $13,3 - 133$  Pa gesorgt. Hierbei kann der Elektrodenabstand  $d$  1 mm betragen, so daß das Produkt  $U \cdot d$   $13,3 - 133$  Pa mm beträgt.

Die bei 7, 8 angelegte Spannung  $U$  kann im Bereich zwischen  $5 - 30$  kV liegen, womit in dem durch die Bohrungen 3, 4 gebildeten Gasentladungskanal die funkenähnliche Gasentladung (Pseudo-Funke) gemäß der Erfindung entsteht. Zur Auslösung der Gasentladung können an die Elektroden Triggersignale angelegt werden.

Es empfiehlt sich im übrigen, daß der Durchmesser der Bohrungen 3, 4 etwa in der Größenordnung des Elektrodenabstandes  $d$  liegt. Die Konzentrierung der Entladung auf den Entladungskanal wird durch die Isolierung 6 am Außenbereich der Elektroden 1, 2 stark gefördert. Hierdurch wird der Weg, den die Gasentladung nehmen kann, auf den Plattenabstand beschränkt, andernfalls wären Umwege für eine Entladung nötig. In der Nähe der Zündspannung bleibt die Entladung ausschließlich auf das Gebiet um die Elektrodenbohrungen 3, 4 beschränkt. Die Schaffung einer solchen zentralen Funkenentladung (Pseudo-Funke) und dessen Lokalisierung im Entladungskanal schafft das gewünschte Ergebnis, nämlich die Extraktion schneller gepulster Ionen- und Elektronenströme, wobei der Ionenstrom aus der jeweiligen Kathodenstrahlung 3 und der Elektronenstrom aus der jeweiligen Anodenbohrung 4 austritt.

Das Ausführungsbeispiel der Fig. 2 zeigt außer der Kathode 1 und der Anode 2 noch mehrere, dazwischen befindliche Zwischenelektroden 9, deren Bohrungen 10 mit den Bohrungen 3, 4 der Anoden-Elektrode bzw. Kathoden-Elektrode in einer geraden Linie fluchten und den Gasentladungskanal bilden. Mit 11 ist der mögliche Austritt von Ionen und mit 12 der mögliche Austritt von Elektronen schematisch dargestellt. 5 ist wiederum die Bohrlochachse und damit Mittelachse des jeweiligen Ionen- oder Elektronenstromes. Die isolierende Gefäßwand ist mit 13 beziffert, während 14 der Außenraum der Anode und 15 der Außenraum der Kathode ist. Schließlich kann zwischen Anode und Kathode ein externer Kondensator 16 vorgesehen sein. 7, 8 sind wieder die Anschlüsse für die an Kathode und Anode anzulegende elektrische Spannung. Bei dieser Anordnung sind die inneren Elektroden (Zwischenelektroden) 9 durch die Isolierwand 13 frei floatend gehalten. Die Elektroden selber sind planparallel zueinander angeordnet. Es wäre aber auch eine in der Zeichnung nicht dargestellte konzentrische Anordnung von Elektroden zueinander möglich.

Die Entladung der externen Kapazität 16 fördert die Schaffung des Elektronen- oder Ionenstromes, d. h. dessen Größe und Intensität. Hierfür typische Werte der Stromstärke sind mit Hilfe der Entladung der Kapazität 100 A Elektronenstrom und 10 A Ionenstrom bei Spannungen zwischen  $5 - 20$  kV für die Zeitdauer von wenigen Nanosekunden, z. B.  $5 - 10$  ns. Bei einer periodischen Entladung dieses Systems lassen sich Frequenzen bis zu etwa 1 MHz erreichen. Die Frequenz hängt von der Strombelastbarkeit der Spannungsquelle ab. Die Druckspannungscharakteristik ist bei Elektrodenabständen von der Größenordnung 1 mm unterhalb 133 Pa sehr steil (angenähert  $U = 1/p^2$ ). Dabei können sehr hohe Spannungswerte erreicht werden.

Die Anordnung einer größeren Anzahl von Elektroden hintereinander gemäß Fig. 2 erhöht die Qualität des Strahls der austretenden Elektronen bzw. Ionen. Dabei können die Zwischenelektroden 9 durch Spannungsteiler mit Teilspannungen gespeist werden, deren Beträge zwischen der Endspannung  $U$  liegen, die bei 7, 8 angelegt wird. Das System ist auch funktionsfähig, wenn entsprechende Spannungswertwerte für die Zwischenelektroden 9 sich von selbst durch die Anordnung und die Entladung einstellen, ohne daß die Zwischenelektroden nach außen an ein Spannungsversorgungssystem angeschlossen sind, sondern lediglich isoliert angebracht sind (wie Fig. 2 zeigt). Die Durchschlagsfestigkeit eines solchen aus mehr als zwei Elektroden bestehenden Systemes ist gegenüber dem Zwei-Elektroden-

A6  
A4

system der Fig. 1 erheblich erhöht. Dies wird wesentlich durch das bereits erwähnte Merkmal gefördert, wonach der Durchmesser der Bohrlöcher 3, 4, 10 in der gleichen Größenordnung wie die Plattenabstände  $d$  gehalten wird. Auf diese Weise lassen sich durch entsprechendes 5 Hintereinanderschalten, evtl. unter Verwendung geeigneter Spannungsteiler, in Vielelektrodensystemen Spannungen bis zu mehreren Million Volt erreichen. Der Durchmesser der austretenden Ionen- und Elektronenströme ist im allgemeinen wesentlich kleiner als der 10 Durchmesser der Bohrlöcher, wobei sich als typischer Wert ergeben hat: Stromdurchmesser =  $1/3$  des Bohrlöcherdurchmessers. Dies erklärt sich durch das magneto-hydrodynamische Verhalten der Entladung. Dieser Effekt tritt auch dann auf, wenn die Kapazität des zu entladenden Systems lediglich aus der Eigenkapazität der Elektroden besteht. Verstärkt werden jedoch die 15 Stromstärken der Entladungen durch externe Kondensatoren gemäß Bezugszeichen 16, die zwischen Anode und Kathode ihre Leistung zuführen können, bzw. die 20 durch Hintereinanderschaltung zwischen Anode und Kathode angebracht sind und Zwischenabzweigungen zu ausgewählten Zwischenelektroden besitzen. Dabei wird der Durchmesser der Entladungsströme nicht wesentlich vergrößert, eher sogar verkleinert. Es lassen 25 sich aber dabei Stromstärken bis zu einigen 100 000 A erreichen. Stromdichten bis zu  $10^8$  A/mm<sup>2</sup> sind möglich. Die austretenden Ionenströme sind wesentlich kleiner und die austretenden Elektronenströme betragen bis 50% der im System fließenden Gesamtströme.

Die inneren Zwischenelektroden und die Kathoden sind stets mit einer Bohrung (eine Bohrung kann nach der Erfindung auch eine anders hergestellte Öffnung sein) versehen, während die Anode eine solche Bohrung bzw. Öffnung haben kann. Diese Bohrungen bzw. Öffnungen sind bevorzugt kreisförmig, sie können aber auch durch nicht kreisförmige Durchbrüche ersetzt werden. Es können mehrere von solchen Bohrungen, 35 Öffnungen oder Durchbrüchen gebildete Entladungskanäle vorgesehen, z. B. einander parallel angeordnet sein. 40 Die Elektroden können statt zueinander planparalleler Platten auch zueinander konzentrische Zylinder sein oder ähnliche Formen aufweisen, wobei jeweils die Bohrungen der Elektroden die erläuterten Entladungskanäle bilden. Auch bei den zuletzt erläuterten Ausgestaltungsmöglichkeiten der Elektroden ist für diese eine de 45 facto-Parallelität erhalten geblieben.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen

50

55

60

65

A7

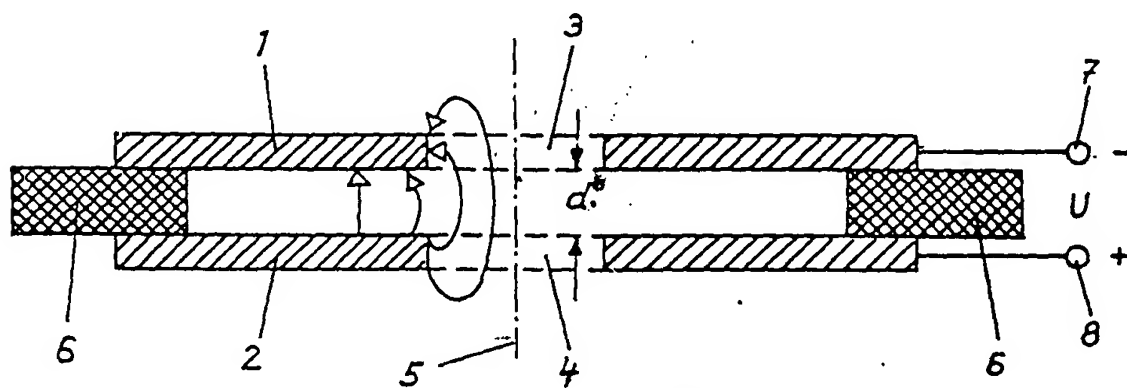


Fig. 1

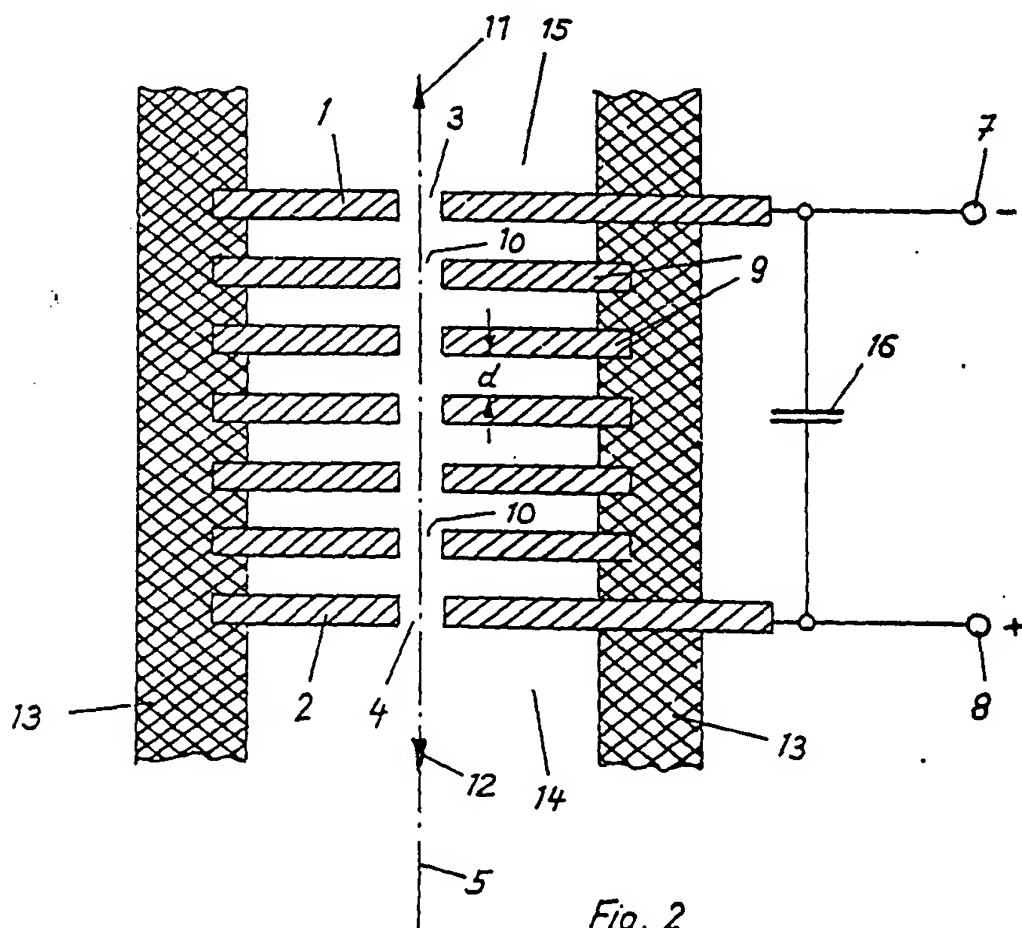


Fig. 2